

大陆性海岛野生植物功能性状特征及其演变趋势 ——以平潭岛为例

黄柳菁^{1*}, 张增可^{1*}, 郑俊鸣¹, 黄少君², 林丽丽¹, 王齐¹, 邓传远¹,
刘兴诏^{1**}

(1. 福建农林大学艺术学院 园林学院(合署), 福州 350002; 2. 暨南大学管理学院, 广州 510632)

摘要: 探讨海岛植物功能性状的演变机制, 对福州市平潭岛和福州国家森林公园的野生植物功能性状进行了比较。结果表明, 平潭岛和公园植物的共有科占总科数的 63%, 共有种占总种数的 19%。海岛植物为适应强风、干旱、贫瘠的环境, 以草本植物为主, 占 65.75%。海岛植物的叶级明显小于大陆植物, 叶被毛植物占 62.39%, 并呈木质化和肉质化特征。海岛植物的繁殖能力提高, 海岛植物花期长于大陆, 以 *r*-繁殖策略为主。海岛植物的传播能力提高, 颖果和瘦果比例高于大陆植物, 而核果和浆果比例相反; 微型果为 79.20%, 以风力和蚁类传播为主。总体而言, 大陆性海岛与大陆野生植物具有相同起源, 海岛植物为适应脆弱的生态环境, 其适应-繁殖-传播相关的功能性状发生演变, 呈现出适应能力增强、繁殖和传播能力提高的特点。

关键词: 功能性状; 野生植物; 大陆性海岛; 平潭岛

doi: 10.11926/jtsb.3725

Functional Traits and Evolution Trend of Wild Plants in Continental Island: A Case Study of Pingtan Island

HUANG Liu-jing^{1*}, ZHANG Zeng-ke^{1*}, ZHENG Jun-ming¹, HUANG Shao-jun², LIN Li-li¹,
WANG Qi¹, DENG Chuan-yuan¹, LIU Xing-zhao^{1**}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The aim was to discuss the evolvement mechanism of plant functional traits in island, the functional traits of wild plants in Pingtan Island and Fuzhou National Forest Park were compared. The result showed that common families of wild plants in Island and continent accounted for 63% of total families, and common species accounted for 19% of total species. Herbaceous plants in island accounted for 65.75% of total plants for adapting to strong wind, drought and barren environment. The leaf-size class of island plants was smaller than that of continental plants. The plants with hairy leaves accounted for 62.39% of total plants in island, and tended to be lignified and succulent. Island plants mainly adapt *r*-reproductive strategy with high reproductive ability. The florescence of island plants was longer than that of continental plants. The spreading ability of island plants improved with high caryopsis and achene proportion, while drupe and berry proportion was low. The mini fruits

收稿日期: 2017-2-13

接受日期: 2017-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301058); 国家林业局森林公园工程技术研究中心开放课题(P TJH1500205); 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201505009-4)资助

This work was supported by the National Nature Science Foundation of China (Grant No. 41301058), the Open Project of Forest Park Engineering Technology Research Center in State Forestry Bureau (Grant No. 41301058), and the Special Projects for Science Research of Ocean Public Welfare in State Ocean Bureau (Grant No. 201505009-4).

作者简介: 黄柳菁(1985~), 女, 博士, 主要从事植被生态学方面的研究。E-mail: huanglj@fafu.edu.cn

* 共同第一作者

** 通信作者 Corresponding author. E-mail: xzliu@fafu.edu.cn

accounted for 79.20% of total plants in island. The main dispersal mode of island plants tended to be wind force and heterogyna. In general, the wild plants in island and continental had the same origin; however, to adapt to fragile island eco-environment, the functional traits of island plants related with adaption-reproduction-dispersal ability had been evolved, showing strong adaptability to radiation, improved reproductive ability and spreading ability.

Key words: Functional trait; Wild plant; Continental Island; Pingtan Island

海岛是一个相对独立完整的生态系统, 由于特殊的地理位置、有限的面积和显著的地理隔离, 阻碍了物种交流, 使其在小面积内分布大量的特有种, 成为生物学的自然实验室^[1-2]。资源短缺、自然灾害、人为干扰、气候变化对海岛生态系统的植被有显著的负面影响, 导致海岛植被种类较少, 结构单一, 多样性下降, 生态系统脆弱化且难以恢复^[3]。因此, 海岛植被作为海洋生态系统的重要组成部分必须受到重视并予以专门研究。

由于海岛生态系统的独特性和脆弱性, 植物易受到异质化生境因子的影响, 有较突出的功能性状^[2,4]。植物功能性状(Functional trait)的演变是近年来生态学研究热点之一^[5]。为适应海岛独特的生态环境, 海岛植物主要有以下功能性状的演变: (1) 适应辐射的能力增强, 为了适应太阳辐射, 夏威夷和加那利群岛的植物以低矮灌木和叶质较硬的草本为主, 并高度木质化^[6]。(2) 繁殖能力提高, Janice^[7]对南大洋州植物繁殖系统的研究表明, 由于海岛的地理隔离促进杂交, 且雌雄同株(Hermaphrodite)高达 88.5%。(3) 传播能力降低, Martin^[8]对温哥华群岛植物传播方式进行了研究, 指出植物通过长距离传播到海岛, 由于海岛的面积受限, 通过增加果实大小和重量, 降低在海岛上传播的能力。总体而言, 海岛植物在适应-繁殖-传播进化演变过程中, 呈现出适应辐射能力增强、繁殖能力提高、传播能力下降的特点。

海岛分为海洋性岛屿、大陆性岛屿和冲击岛屿三种类型, 以前的研究大多数以温带海洋性气候的海洋性岛屿为主^[6-9], 相对封闭和隔离。针对南亚热带季风气候的大陆性海岛研究较少, 而大陆性岛屿与大陆的联系更为紧密^[10], 岛上植物的结构和功能性状与海洋性海岛必然存在着一定的差异。国内对海岛植被的研究集中于海岛植物区系及其多样性^[11-13]。本文以大陆性海岛——平潭岛为研究对象, 以相同纬度的、距离较近的大陆森林野生植被作为参照, 探讨二者植物功能性状的分布差异, 有

助于了解大陆性海岛植物的适应-繁殖-传播的进化演变机制, 旨在深入探讨海岛野生植物的进化特征和演变趋势。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

以福建省福州市的大陆性海岛——平潭岛为研究对象, 通过卫星影像定位和查阅相关文献, 选择与平潭岛距离较近、纬度相同的大陆野生植物群落——福州国家森林公园作为参照。

平潭岛位于福建省东部海域, 是福建省的强风区之一(图 1), 地理位置为 119°32'~120°10' E, 25°15'~25°45' N, 面积 324.12 km², 为全国第五大岛、福建第一大岛。气候属于南亚热带海洋性季风气候, 年均温 19.4℃, 年均风速 9.0 m s⁻¹, 每年 7 级以上大风 125 d, 7-9 月常受台风影响, 年均降雨天数 131 d, 年降水量 1196.2 mm, 多集中在 2-6 月, 11 月至次年 1 月为旱季, 年平均蒸发量 (1917.4 mm) 远远超过降雨量^[14]。平潭岛面临风沙大、水资源短缺、水土流失严重等问题, 土壤类型为红壤、风沙土及盐土壤, 且土壤全 C、全 P 含量、N/P、C/P 呈现出距离海岸越近值越小的趋势, 而 pH 和土壤盐度呈现相反的趋势, N 在整个海岛上严重缺乏^[15], 导致岛上生境不良, 自然植被稀疏, 种类少, 优势种相对明显, 群落结构单一, 均呈现明显旱中生特征。同时平潭岛分布较多福州大陆未出现的植物物种, 具鲜明的海滨特色: 典型的海岛乡土植物, 如滨柃(*Eurya emarginata*)、秋茄(*Kandelia candel*)和海滨藜(*Atriplex maximowicziana*)等。

福州国家森林公园创建于 1959 年, 地理位置为 119°11'~119°40' E, 25°57'~26°24' N, 面积为 83.59 km², 气候属于南亚热带海洋性季风气候, 全年冬暖夏凉、气候温和、雨量充沛, 年平均降雨日数 153 d, 年降水量 1438.5 mm, 多集中在 5-6 月份, 年平均相对湿度 79%, 年平均蒸发量达

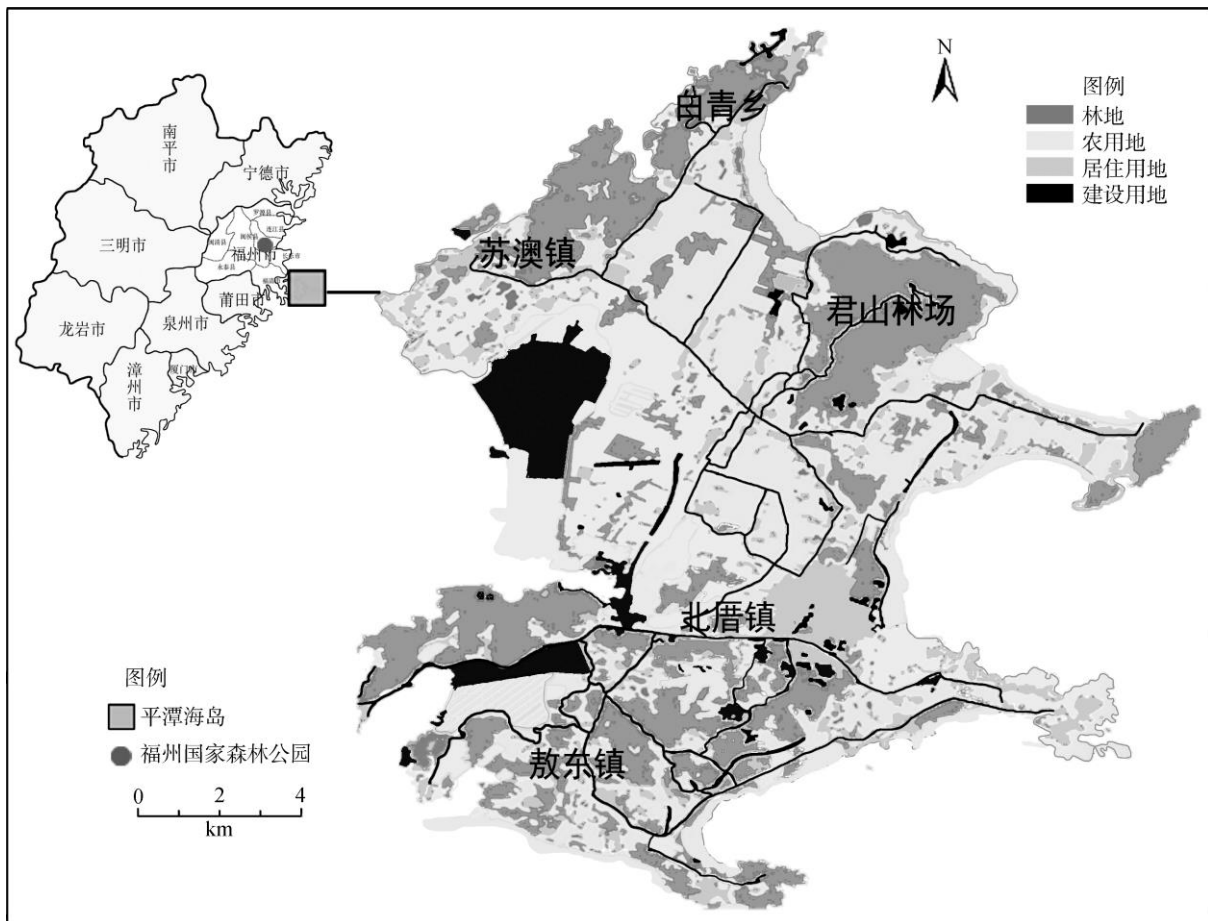


图1 平潭岛区位图

Fig. 1 Location of Pingtan Island

1091.6 mm。土壤类型为红壤和山地红壤, 土壤 pH 为 5.21, 全 N、速效 K、速效 P 含量较高, 分别为 0.51 mg kg^{-1} 、 53 mg kg^{-1} 、 6.24 mg kg^{-1} ^[16]。主导风向为东南风, 冬季多为西北风, 年均风速 2.8 m s^{-1} , 年均大风 12.9 d。野生植物资源丰富, 森林覆盖率高达 80% 以上。

1.2 调查方法

采用样线调查法研究野生植被资源。根据卫星影像及查阅基础资料选定林地作为调查对象。在海岛林地中共设置 24 条调查样线, 分别为苏澳镇 5 条、白青乡 3 条、君山林场 5 条、北厝镇 5 条、敖东镇 6 条, 样线长度 0.5~1.8 km, 调查面积为 20 km^2 。森林公园由低纬度至高纬度共设置 21 条调查样线, 样线长度 0.5~1.6 km, 调查覆盖面积为 18 km^2 。

样线调查过程中, 尽可能当场鉴定并记录所有野生植物种类、形态特征、生境等信息, 对部分不

能当场鉴定的植物制作标本, 带回实验室进行鉴定。标本鉴定依据《中国植物志》^[17]、《福建植物志》^[18]、《福建省主要森林植物彩色图鉴》^[19]及其他文献资料。

所选功能性状对海岛特殊环境的干扰有一定的敏感性, 并且是海岛野生植物普遍特征, 与植物适应海岛辐射、繁殖策略、传播方式相关。

1.3 研究方法

选择野生植物响应环境的 10 个定性功能性状, 划分为生长型、性系统、开花期、总开花持续时间、叶质、叶级、有/无被毛、果实类型、果实大小、传播方式, 包括 48 个性状。

(1) 生长型: 按照陈有民^[20]对植物生长类型的分类, 划分为乔木、灌木、草本、藤本。

(2) 叶级: 按照 Raunkiaer^[21]的标准, 划分为大型叶、中型叶、小型叶、微型叶。

(3) 叶质: Pajamans^[22]的标准, 划分为革质叶、

草质叶、膜质叶、纸质叶、肉质叶。

(4) 叶被毛: 分为有被毛、无被毛。

(5) 性系统: 划分为雌雄同株和雌雄异株。

(6) 开花期: 早(2-5 月份开花)、中(6-7 月份开花)、晚(8-10 月份开花)。

(7) 总开花持续时间: 短(花期持续 1 个月左右)、中(2~3 个月)、长(4 个月以上)。

(8) 果实类型: 根据楼焱^[23]的标准, 划分为翅果、蓇葖果、核果、荚果、坚果、浆果、瘦果、蒴果、颖果等。

(9) 果实大小: 根据果径进行分类, 大型果 ≥ 3.7 cm, 中型果 2.3~3.7 cm, 小型果 1~2.3 cm, 微型果 ≤ 1 cm。

(10) 传播方式: 按照马绍宾^[24]的标准, 划分为哺乳动物、风力、蚁类、鸟类、自体。

1.4 数据统计

参考福州国家森林公园野生植物名录^[25]和相关文献, 利用 Excel 表格制作功能性状统计表。

以每个性状占功能性状的百分比作为分析因子, 利用 SPSS 19.0 进行方差分析, 功能性状的差异采用独立样本 *t* 检验法, 显著性水平为 $P < 0.05$; 海岛和大陆间性状的差异采用单因素方差(One-Way ANOVA)进行分析, 以最小显著差异法(LSD)比较不同组间的差异。

2 结果和分析

2.1 种类组成

平潭岛和福州国家森林公园共有野生植物 46 科 37 属 30 种, 其中平潭岛野生植物隶属于 83 科 234 属 327 种, 大陆森林公园野生植物隶属 73 科 115 属 158 种。两者共有的科比例高达 63.01%; 共有的属比例为 32.17%; 但仅有 30 种共有种, 比例为 18.99%, 因此需要通过进一步的功能性状分析才能揭示二者的差异。

本研究选择 10 个定性的植物功能性状, 48 个性状特征。根据植物性状与环境的关系, 将 10 个功能性状分为适应环境压力的性状、适应辐射的性状、繁殖策略相关的性状和二次传播相关的性状。结果显示: 32 个性状特征在海岛和大陆之间存在显著性差异, 其中 12 个为显著差异($P < 0.05$), 20 个极显著差异($P < 0.01$), 说明大陆性海岛和大陆野生

植物的功能性状存在较大的差异(表 1)。

2.2 功能性状的比较

适应环境压力的功能性状主要是植物生长型。海岛和大陆野生植物的灌木($P=0.035$)和草本($P=0.013$)比例有显著差异, 乔木($P=0.003$)和藤本($P=0.006$)比例存在极显著差异(表 1)。海岛中乔木、灌木、藤本比例均低于大陆, 而草本明显高于大陆, 占绝对优势, 达 65.75%。

适应辐射、水分、土壤盐渍化压力的功能性状主要有叶级、叶质和叶有无毛。海岛和大陆野生植物的叶级具有显著差异(表 1), 微型叶达显著差异($P=0.025$), 中型叶达极显著差异($P=0.004$)。海岛植物的小型叶和中型叶比例低于大陆, 而微型叶高于大陆, 海岛和大陆植物均以中型叶为主, 但差异大, 分别为 52.53%和 74.01%。海岛和大陆野生植物的叶质具有显著差异(表 1), 草质叶和肉质叶达极显著差异($P=0.001$), 海岛的草质叶和肉质叶高于大陆。海岛和大陆野生植物的叶被毛情况具有显著差异(表 1), 有被毛的 $P=0.022$, 而无被毛的 $P=0.02$ 。海岛野生植物中叶有被毛(62.39%)的远远高于大陆, 而大陆植物叶无被毛的占主导(67.72%)。

与植物繁殖策略有关的功能性状包括性系统、开花期和总花期持续时间。海岛和大陆野生植物的性系统无显著差异(表 1), 均以雌雄同株为主, 而海岛雌雄同株(89.3%)大于大陆的(85.44%)。海岛和大陆野生植物的开花期有显著差异(表 1): 8-10 月开花的晚花期植物有极显著差异($P=0.005$), 且海岛的(19.57%)大于大陆的(5.70%)。海岛和大陆野生植物的总开花持续时间存在显著差异(表 1), 总开花持续时间短的植物有显著差异($P=0.023$), 海岛植物花期以中(51.68%)和长(25.99%)为主, 而大陆植物花期以短(39.24%)和中(39.24%)为主, 总体而言, 海岛花期持续时间长于大陆。

与植物传播能力有关的功能性状包括果实类型、果实大小和传播方式。海岛和大陆野生植物的果实类型有显著差异(表 1), 荚果($P=0.042$)存在显著差异, 坚果($P=0.007$)、浆果($P=0.007$)、瘦果($P=0.002$)、颖果($P=0.002$)存在极显著差异。海岛植物中核果和浆果比例明显低于大陆, 而颖果和瘦果高于大陆。海岛和大陆野生植物的果实大小具有显著差异(表 1), 小型果($P=0.016$)和微型果($P=0.041$)存在显著差异, 大型果($P=0.003$)和中型果($P=0.002$)

表 1 平潭岛和福州国家森林公园野生植物的功能性状分布(%)

Table 1 Distribution (%) of functional traits of wild plants between Pingtan Island and National Forest Park of Fuzhou

功能性状 Functional traits		性状 Trait	平潭岛 Pingtan Island	森林公园 Forest Park	P	
环境压力 Environment stress	生长型 Growth form	乔木 Tree	6.42(21)	19.62(31)	0.003**	
		灌木 Shrub	21.71(71)	35.44(56)	0.035*	
		草本 Herb	65.75(215)	29.75(47)	0.013*	
辐射 Radiation	叶级 Leaf-size class	藤本 Liana	6.12(20)	15.19(24)	0.006**	
		大型叶 Macrophyll	0.61(2)	0.63(1)	0.842	
		中型叶 Mesophyll	14.68(48)	41.14(65)	0.004**	
		小型叶 Microphyll	74.01(242)	52.53(83)	0.108	
	叶质 Leaf texture	微型叶 Leptophyll	10.70(35)	5.70(9)	0.025*	
		草质 Herbaceous	15.90(52)	0.63(1)	0.001**	
		革质 Coriaceous	37.61(123)	38.61(61)	0.876	
		膜质 Membranous	5.20(17)	2.53(4)	0.017*	
		肉质 Fleshy	1.22(4)	0.00(0)	0.001**	
		纸质 Papyraceous	40.06(131)	58.28(92)	0.073	
叶毛 Leaf hair	有毛 Pubescent	62.39(204)	32.28(51)	0.022*		
	无毛 Hairless	37.61(123)	67.72(107)	0.02*		
繁殖策略 Reproductive strategy	性系统 Sexual system	雌雄同株 Hermaphrodite	89.30(292)	85.44(135)	0.793	
		雌雄异株 Bioecy	10.70(35)	14.56(23)	0.117	
	开花期 Florescence	早 Early	39.14(128)	53.16(84)	0.119	
		中 Middle	41.28(135)	41.14(65)	0.984	
		晚 Late	19.57(64)	5.70(9)	0.005**	
	花期 Duration of flowering	短 Short	22.32(73)	39.24(62)	0.023*	
		中 Middle	51.68(169)	39.24(62)	0.167	
		长 Long	25.99(85)	21.52(34)	0.305	
		果实类型 Fruit type	胞果 Utricle	2.45(8)	0.00(0)	0.001**
	传播能力 Dispersal ability	果实类型 Fruit type	翅果 Samara	0.61(2)	3.80(6)	0.001**
分果 Schizocarp			0.00(0)	1.90(3)	0.001**	
蓇葖果 Follicle			2.14(7)	5.06(8)	0.006**	
核果 Drupe			12.54(41)	18.99(30)	0.056	
荚果 Legume			6.42(21)	10.13(16)	0.042*	
坚果 Nut			9.17(30)	3.16(5)	0.007**	
浆果 Berry			6.73(22)	15.82(25)	0.007**	
梨果 Pome			0.00(0)	0.63(1)	0.001**	
角果 Siliqua			0.92(3)	0.00(0)	0.001**	
聚合果 Aggregata fruit			0.31(1)	0.00(0)	0.001**	
聚花果 Collective fruit			0.61(2)	0.00(0)	0.001**	
球果 Cone			0.92(3)	0.63(1)	0.088	
瘦果 Achene			16.82(55)	5.06(8)	0.005**	
蒴果 Capsule			24.46(80)	33.54(53)	0.11	
颖果 Caryopsis			15.90(52)	1.27(2)	0.002**	
传播方式 Dispersal mode			哺乳动物 Mammalian	6.42(21)	29.11(46)	0.002**
			风 Wind	33.64(110)	18.35(29)	0.027*
			蚁类 Mymecochory	30.89(101)	16.46(26)	0.024*
			鸟 Ornithochory	22.63(74)	27.22(43)	0.297
			自体 Autochorous	6.42(21)	8.86(14)	0.106
果实大小 Fruit size	大型果 Big fruit	4.89(16)	15.82(25)	0.003**		
	中型果 Middle fruit	2.45(8)	11.39(18)	0.002**		
	小型果 Small fruit	13.46(44)	25.32(40)	0.016*		
	微型果 Minimal fruit	79.20(259)	47.47(75)	0.041*		

括号内为植物种数, *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。

The number of species is shown in parentheses. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

存在极显著差异, 海岛植物的大型果、中型果、小型果比例低于大陆, 但微型果显著高于大陆, 占

79.20%, 即海岛植物的果实较小。海岛和大陆野生植物的传播方式具有显著差异(表 1), 以风力($P =$

0.027)和蚁类($P=0.024$)传播的存在显著差异,哺乳动物传播的有极显著差异($P=0.002$)。海岛野生植物中以蚁类和风传播的比例高于大陆,哺乳动物传播的低于大陆,可见,海岛植物以风力传播为主,大陆植物以哺乳动物为主。

3 讨论和结论

3.1 海岛植物生长型的演变机制

本研究表明,植物的生长型在海岛和大陆间有显著差异($P<0.05$),海岛野生植物以草本为主(65.75%),大陆以灌木(35.44%)和草本(29.75%)为主,海岛野生植物的株高低于大陆植物,这是因为平潭岛野生植物多以草本为主。平潭岛所属区域有较强风力,受东北信风和东北季风叠加和海峡“颈束”地形的影响,风速再度加强,年平均风速 9.0 m s^{-1} ,7级以上大风有 $125\text{ d}^{[31]}$ 。低矮草本比较高的乔、灌木更容易适应这种强风的环境,因此,平潭岛植被以低矮草本为主。广东南澳岛、上海大金岛等野生植物也表现出类似的特征^[26-27]。平潭岛气候干燥、水资源缺乏,且整个海岛土壤严重缺乏N,土壤C、P含量、N/P、C/P距离海岸越近越小、pH和土壤盐度则距离海岸越近越大,导致滨海滩涂土壤贫瘠、养分缺乏、盐渍化严重^[15,28]。在这种恶劣的环境中,乔、灌木无法良好生长,而草本具有较强的适应能力,生长良好。这与前人的研究结果相吻合,千岛湖上以草本最为常见,主要为禾本科(Gramineae)和菊科(Compositae)^[10];蛋坨子岛土层较薄,不适合高大乔木生长,多为草本植物^[29];达尔文^[30]调查Tasmania海岛,认为贫瘠的土壤只能支撑低矮灌木和叶质较硬的草本生长。

3.2 植物叶特性的演变机制

海岛植物主要受太阳辐射影响外,还受到水分、土壤等因子的影响,有较多性状发生演变,主要表现在叶片上。本研究中海岛植物叶特性上表现出3种类型,(1)保护型:植物以有利于减少水分过度蒸腾、阳光强烈照射来适应干旱贫瘠的环境^[31],如山莓(*Rubus corchorifolius*)、花椒属(*Zanthoxylum*)植物枝上长满了皮刺,翻白草(*Potentilla discolor*)、蓟属(*Cirsium*)植物的茎或叶密被白色绵毛,老鼠芳(*Spinifex littoreus*)叶质坚硬且厚,以反射阳光和阻止水分丧失,甜根子草(*Saccharum spontaneum*)、盐地

鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)、沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)、中华结缕草(*Zoysia sinica*)等的根状茎木质化程度较高,具有较强耐干旱、耐贫瘠、耐盐碱的能力。本研究中海岛植物叶有被毛的高达62.37%,而大陆植物叶无被毛的67.71%,植物叶有/无被毛在海岛和大陆间存在显著差异($P<0.05$),海岛植物被毛发达,以减少水分蒸腾,充分证明这些植物特征有利于适应平潭岛辐射、干旱、土壤贫瘠的生态环境。(2)节约型:以最大限度减少植物暴露面积,从而减少对辐射的直接接触和水分的蒸腾^[31],如茅膏菜属(*Drosera*)植物常叶片退化,具有根的功能,风毛菊属(*Saussurea*)植物茎矮小,有时退化至无茎。本研究中海岛植物叶级以小型叶为主(74.01%),有利于减少植物的裸露面积,来适应平潭岛强辐射和干旱环境。(3)忍耐型:通过叶肉细胞大量贮存水分和特有内含物,提高保水、保肥能力来抵抗气候干旱、土壤贫瘠的胁迫。本研究表明,海岛植物与大陆植物具肉质叶的存在极显著差异($P=0.001$),海岛肉质叶植物高于大陆,如景天属(*Sedum*)、番杏属(*Tetragonia*)植物、厚藤(*Ipomoea pescaprae*)常有肥厚、肉质的茎和叶。与Jorgensen等^[6]对加那利群岛的研究结果一致,加那利群岛有42种特化肉质叶景天科(Crassulaceae)植物。这些叶片特征是为适应平潭岛干旱、土壤贫瘠环境,尤其是滩涂区域严重缺乏C、N、P含量,盐度大而演变的。

3.3 植物繁殖策略的演变机制

平潭岛植物中雌雄同株比例高达89.3%,而雌雄异株仅占10.7%,符合Baker规律,即雌雄同株能够自花授粉,具有建立海岛种群的优势^[32]。Janice^[7]报道南大洋州雌雄同株植物比例高达88.5%,雌雄异株只占7.1%。雌雄同株可以同时作为花粉受体和供体,在植物受到传粉限制的情况下保障其雌雄适合度^[33]。而雌雄异株是严格异花授粉,大多数需依赖传粉者才能进行有性繁殖。在自交无法进行的环境下,海岛植物可以借助延长花期,花期的长短关系到繁殖成功的机率^[34],本研究中海岛植物总开花持续时间在3~4个月和4个月以上比例高于大陆植物,从而增加了海岛植物的繁殖机率,花期是影响植物繁殖成功的重要性状,长花期具有繁殖保障机制^[35]。海岛植物的开花期比大陆的晚,有关研究表明,温度高的环境促使植物提前开花,在干旱条件

下导致植物花期延迟^[36]。这与平潭岛平均温度比大陆低、较干旱的特点相适应。此外,平潭海岛植物以 *r*-繁殖策略为主,植物个体能产生大量小而轻的种子,如软叶水蓼(*Polygonum hydropiper*)、海滨藜(*Atriplex maximowicziana*)、土荆芥(*Chenopodium ambrosioides*)、益母草(*Leonurus artemisia*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、鼠尾粟(*Sporobolus fertilis*)等的繁殖速率高,发育速率快,与后代的死亡率和群体密度无显著关系。

3.4 海岛植物传播能力的演变机制

本文为了探讨植物在海岛上传播能力发生的演变机制,分析了果实类型、果实大小、传播方式功能性状,本研究结果表明,海岛植物和大陆植物传播能力中的5个性状存在显著差异($P < 0.05$),15个性状具有极显著差异($P < 0.01$)。海岛植物以颖果和瘦果为主,核果和浆果较少,而大陆植物与之相反;微型果在海岛植物中所占比例较高(78.2%),与大陆植物存在显著差异($P < 0.05$);海岛植物传播方式以风力和蚁类传播为主(64.49%),大陆主要以哺乳动物和鸟类传播为主(56.33%)。这首先是因为平潭岛植物以草本为主,而草本植物的果实多为较小的颖果、瘦果和蒴果,乔木、灌木、藤本植物的多以核果和浆果为主^[37];其次,由于平潭岛生态环境较差,动物较少,而风力强劲,所以借助风力传播的植物较多。海岛植物传播能力增强,干燥有风的环境有利于较小种子进行风传播,而且植物产生小种子比大种子的数量多,传播距离较远,因此扩大了植物的传播范围^[37-39]。小笠原群岛和萨摩亚群岛上通过风传播的物种比例高达40%,可能是该区域受太平洋盛行西风的影响^[39]。但也有研究表明,夏威夷海岛植物果实增大和重量增加、减少冠毛数量,导致传播能力降低^[7-8],可能是因为夏威夷岛是海洋性岛屿,而平潭岛属于大陆性岛屿,由于地理隔离程度不一样,导致传播方式不同。

总体而言,大陆性海岛和大陆野生植物存在显著差异,这归因于大陆性海岛与大陆存在地理隔离,又因海岛特殊的地理环境,致使海岛野生植物在进化过程中提高了适应-繁殖-传播能力,其相关功能性状发生演变。海岛野生植物生长型以草本为主,叶小且被毛、高度木质化和肉质化,以雌雄同株为主,花期相对较长,*r*-繁殖策略占主导,果实小而轻,以风力传播为主。大陆性海岛野生植物发

生这些演变现象,反映海岛生态环境的脆弱性,表明植物功能性状与其生态系统密切相关,掌握植物功能性状的演变机制,将有助于应对在自然灾害和人类活动干扰日益加剧的情况下,植物功能性状演替偏途化带来的群落结构简单、功能多样性下降和生态系统单一化等问题。

参考文献

- [1] STUESSY T F, JAKUBOWSKY G, GÓMEZ R S, et al. Anagenetic evolution in island plants [J]. *J Biogeogr*, 2006, 33(7): 1259–1265. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01504.x.
- [2] CHI Y, SHI H H, WANG X L, et al. The spatial distribution and impact factors of net primary productivity in the island ecosystem of five southern islands of Miaodao Archipelago [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, 35(24): 8094–8106. doi: 10.5846/stxb201405040880.
池源, 石洪华, 王晓丽, 等. 庙岛群岛南五岛生态系统净初级生产力空间分布及其影响因子 [J]. *生态学报*, 2015, 35(24): 8094–8106. doi: 10.5846/stxb201405040880.
- [3] WEN X L, ZHANG Y. Remote sensing monitoring of bare soil in initial stage of construction of Pingtan Comprehensive Experimental Zone based on spectral analysis [J]. *J Fuzhou Univ (Nat Sci)*, 2016, 44(1): 52–56. doi: 10.7631/issn.1000-2243.2016.01.0052.
温小乐, 张瑜. 基于光谱分析的平潭综合实验区建设初期裸土变化的遥感监测 [J]. *福州大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(1): 52–56. doi: 10.7631/issn.1000-2243.2016.01.0052.
- [4] CAO K, RAO M D, YU J Z, et al. The phylogenetic signal of functional traits and their effects on community structure in an evergreen broad-leaved forest [J]. *Biodiv Sci*, 2013, 21(5): 564–571. doi: 10.3724/SP.J.1003.2013.08068.
曹科, 饶米德, 余建中, 等. 古田山木本植物功能性状的系统发育信号及其对群落结构的影响 [J]. *生物多样性*, 2013, 21(5): 564–571. doi: 10.3724/SP.J.1003.2013.08068.
- [5] KRAFT N J B, GODOY O, LEVINE J M. Plant functional traits and the multidimensional nature of species coexistence [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2015, 112(3): 797–802. doi: 10.1073/pnas.1413650112.
- [6] JORGENSEN T H, OLESEN J M. Adaptive radiation of island plants: evidence from *Aeonium* (Crassulaceae) of the Canary Islands [J]. *Persp Plant Ecol Evol Syst*, 2001, 4(1): 29–42. doi: 10.1078/1433-8319-0013.
- [7] LORD J M. Patterns in floral traits and plant breeding systems on Southern Ocean Islands [J]. *AoB Plants*, 2015, 7: plv095. doi: 10.1093/aobpla/plv095.
- [8] CODY M L, OVERTON J M. Short-term evolution of reduced

- dispersal in island plant populations [J]. *J Ecol*, 1996, 84(1): 53–61. doi: 10.2307/2261699.
- [9] ALSOS I G, EHRICH D, EIDSEEN P B, et al. Long-distance plant dispersal to North Atlantic Islands: Colonization routes and founder effect [J]. *AoB Plants*, 2015, 7: plv036. doi: 10.1093/aobpla/plv036.
- [10] XIE C, ZENG Q W, XING F W. Study on vegetation and vascular plant diversity on islands near Tolo Harbour, Hong Kong [J]. *Guihaia*, 2012, 32(4): 468–474. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.04.010.
谢聪, 曾庆文, 邢福武. 香港吐露港附近岛屿植被与植物多样性研究 [J]. *广西植物*, 2012, 32(4): 468–474. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.04.010.
- [11] PENG S Y, HU G, YU M J. Beta diversity of vascular plants and its influencing factors on islands in the Thousand Island Lake [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, 34(14): 3866–3872. doi: 10.5846/stxb201212031738.
彭思羿, 胡广, 于明坚. 千岛湖岛屿维管植物 β 多样性及其影响因素 [J]. *生态学报*, 2014, 34(14): 3866–3872. doi: 10.5846/stxb201212031738.
- [12] GAO H J, WANG G M, YU Q J. Distribution characteristics and species diversity of seed plants in Zhoushan, Zhejiang [J]. *Plant Sci J*, 2015, 33(1): 61–71. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2015.10061.
高浩杰, 王国明, 郁庆君. 舟山市种子植物物种多样性及其分布特征 [J]. *植物科学学报*, 2015, 33(1): 61–71. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2015.10061.
- [13] WANG J W, WEI X, CHEN Q X, et al. Factors affecting species richness and beta diversity of vascular plants on small islands in the Wenzhou region of eastern China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(2): 523–540. doi: 10.5846/stxb201507111469.
王金旺, 魏馨, 陈秋夏, 等. 温州沿海小型海岛植物丰富度和 β 多样性及其影响因子 [J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 523–540. doi: 10.5846/stxb201507111469.
- [14] CHEN P, WU J, FU S F. Study on the dynamic change of landscape pattern and its landscape ecological effects in Haitan Island of Pingtan County [J]. *Ecol Sci*, 2013, 32(3): 265–270.
陈鹏, 吴剑, 傅世锋. 平潭海坛岛景观格局动态变化及其生态效应分析 [J]. *生态科学*, 2013, 32(3): 265–270.
- [15] ZHONG C L, HUANG Y X, ZHANG Q, et al. The stoichiometric characteristics and carbon, nitrogen stores of four main coastal shelterbelt forests in Pingtan [J]. *J SW For Univ*, 2016, 36(2): 96–102. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.02.016.
钟春柳, 黄义雄, 张巧, 等. 平潭 4 种主要防护林碳氮磷化学计量特征与碳氮储量研究 [J]. *西南林业大学学报*, 2016, 36(2): 96–102. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.02.016.
- [16] WANG Z J. Studies on ecological benefits evaluation and tourism suitability assessment of natural environment in Fuzhou National Forest Park [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2004: 1–143.
王忠君. 福州国家森林公园生态效益与自然环境旅游适宜性评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2004: 1–143.
- [17] *Deletis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 9(1)* [M]. Beijing: Science Press, 1996: 1–176.
《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志, 第 9 卷第 1 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1–176.
- [18] Editorial Committee of Flora of Fujian. *Flora of Fujian, Vol. 1* [M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Press, 1982: 1–511.
福建植物志编写组. 福建植物志: 第 1 卷 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1982: 1–511.
- [19] HE G S. *Coloured Illustrations of the Main Forest Plants in Fujian Province* [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2012: 1–308.
何国生. 福建省主要森林植物彩色图鉴 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2012: 1–308.
- [20] CHEN Y M. *Garden Dendrology* [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Press, 2011: 1–286.
陈有民. 园林树木学 [M]. 第 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2011: 1–286.
- [21] SONG Y C. *Vegetation Ecology* [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001: 1–697.
宋永昌. 植被生态学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 1–697.
- [22] PAIJMANS K. An analysis of four tropical rain forest sites in New Guinea [J]. *J Ecol*, 1970, 58(1): 77–101. doi: 10.2307/2258170.
- [23] LOU L H, WANG C X, WANG H. Study on the classification of fruit forms [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1998, 15(1): 87–90.
楼炉煊, 王彩霞, 王慧. 果实类型分类探讨 [J]. *浙江林学院学报*, 1998, 15(1): 87–90.
- [24] MA S B, LI D Z. Dispersal and evolution in higher plants: I. Diaspores, their quantity and life span as well as dispersal mechanisms [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2002, 24(5): 569–582. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2002.05.003.
马绍宾, 李德铎. 高等植物的散布与进化: I. 散布体类型、数量、寿命及散布机制 [J]. *云南植物研究*, 2002, 24(5): 569–582. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2002.05.003.
- [25] JI H Y. Study on resources and evaluation of wild ornamental plants in Fuzhou Botanical Garden [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014: 1–23.
纪宏艳. 福州植物园野生观赏植物资源研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2014: 1–23.
- [26] ZHOU H C, REN H, PENG S L. Community dynamics during the

- process of vegetation restoration on Nan'ao Island, Guangdong [J]. *Acta Phytocool Sin*, 2001, 25(3): 298–305.
- 周厚诚, 任海, 彭少麟. 广东南澳岛植被恢复过程中的群落动态研究 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 298–305.
- [27] YANG Y C, DA L J, QIN X K. A study on the flora of Dajinshan Island in Shanghai, China [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2002, 20(6): 433–437. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2002.06.009.
- 杨永川, 达良俊, 秦祥堃. 上海大金山岛种子植物区系的研究 [J]. *武汉植物学研究*, 2002, 20(6): 433–437. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2002.06.009.
- [28] SU Y P. Selection and application of wind-resistant and salt-tolerant landscape plants in Pingtan Island, Fujian Province [J]. *Subtrop Plant Sci*, 2013, 42(3): 267–270. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2013.03.018.
- 苏燕苹. 福建平潭抗风耐盐园林植物的筛选与配置 [J]. *亚热带植物科学*, 2013, 42(3): 267–270. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2013.03.018.
- [29] WANG L. Research and strategy on the plants of Dantuozi Island based on biodiversity [D]. Liaoning: Dalian University of Technology, 2013: 1–49.
- 王磊. 基于生物多样性的蛋坨子岛植物研究与对策 [D]. 辽宁: 大连理工大学, 2013: 1–19.
- [30] CARLQUIST S. Darwin on island plants [J]. *Bot J Linn Soc*, 2009, 161(1): 20–25. doi: 10.1111/j.1095-8339.2009.00990.x.
- [31] WANG X L, MA J. A study on leaf-structure and the diversity of xerophytes ecology adaptation [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, 19(6): 787–792. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.06.004.
- 王勋陵, 马骥. 从旱生植物叶结构探讨其生态适应的多样性 [J]. *生态学报*, 1999, 19(6): 787–792. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.06.004.
- [32] BAKER H G. Self-compatibility and establishment after 'long-distance' dispersal [J]. *Evolution*, 1955, 9(3): 347–349. doi: 10.2307/2405656.
- [33] DUAN Y W, HE Y P, ZHANG T F, et al. Delayed selfing in an alpine species *Gentianopsis barbata* [J]. *J Plant Ecol*, 2007, 31(1): 110–117.
- 段元文, 何亚平, 张挺锋, 等. 高山植物扁蕾的延迟自交机制 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 110–117.
- [34] PENG D L, ZHANG Z Q, NIU Y, et al. Advances in the studies of reproductive strategies of alpine plants [J]. *Biodiv Sci*, 2012, 20(3): 286–299. doi: 10.3724/SP.J.1003.2012.14039.
- 彭德力, 张志强, 牛洋, 等. 高山植物繁殖策略的研究进展 [J]. *生物多样性*, 2012, 20(3): 286–299. doi: 10.3724/SP.J.1003.2012.14039.
- [35] ZHANG Z Q, LI Q J. Review of evolutionary ecology of floral longevity [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, 33(3): 598–606. doi: 10.3773/j.issn.1005-264X.2009.03.019.
- 张志强, 李庆军. 花寿命的进化生态学意义 [J]. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 598–606. doi: 10.3773/j.issn.1005-264X.2009.03.019.
- [36] LUO R, GUO J J. Plant flowering time: Natural variation in the field and its role in determining genetic differentiation [J]. *Chin Bull Bot*, 2010, 45(1): 109–118. doi: 10.3969/j.issn.1674-3466.2010.01.016.
- 罗睿, 郭建军. 植物开花时间: 自然变异与遗传分化 [J]. *植物学报*, 2010, 45(1): 109–118. doi: 10.3969/j.issn.1674-3466.2010.01.016.
- [37] CHEN X L, TIAN F, QI P C. Composition and vertical differentiation of fruit types in Baishuijiang National Nature Reserve in Gansu Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, 43(6): 61–66. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2007.06.011.
- 陈学林, 田方, 戚鹏程. 白水江自然保护区植物果实类型组成及垂直分异 [J]. *林业科学*, 2007, 43(6): 61–66. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2007.06.011.
- [38] MORSE D H, SCHMITT J. Propagule size, dispersal ability, and seedling performance in *Asclepias syriaca* [J]. *Oecologia*, 1985, 67(3): 372–379. doi: 10.1007/BF00384943.
- [39] GUO Q F, BROWN J H, VALONE T J, et al. Constraints of seed size on plant distribution and abundance [J]. *Ecology*, 2000, 81(8): 2149–2155. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[2149:COSSOP]2.0.CO;2.